

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Dean Smojver

**Zbrinjavanje radioaktivnog otpada nakon
medicinske dijagnostike i terapije**

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Dean Smojver

**Zbrinjavanje radioaktivnog otpada nakon
medicinske dijagnostike i terapije**

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2017.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Zavodu za zdravstvenu ekologiju i medicinu rada, Škola narodnog zdravlja "Andrija Štampar" Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof.dr.sc. Ksenije Vitale i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2017.

Mentor rada: prof.dr.sc. Ksenija Vitale.

POPIS KRATICA

Bq - bekerel

Cr - krom

CT - kompjueterizirana tomografija

DNK - dezoksiribonukleinska kiselina

Fe - željezo

Gy - grej

H - vodik

HDZZ - Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja

HND - Hrvatsko nuklearno društvo

HRCT - kompjueterizirana tomografija visoke rezolucije

I - jod

IAEA - Međunarodna agencija za atomsku energiju

IgG - imunoglobulin G

I-HOT - "vruće" jodni laboratorij

II - iskorišteni izvori ionizirajućeg zračenja

IMI - Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada

IRB - Institut Ruđer Bošković

keV – kiloelektronvolt

MeV - megaelektronvolt

MIBG - metaiodobenzilguanidin

mm - milimetar

nm - nanometar

pm - pikometar

NN - Narodne novine

OH - hidroksilna skupina

P - fosfor

PET - pozitronska emisijska tomografija

RAO - radioaktivni otpad

RH - Republika Hrvatska

RNK - ribonukleinska kiselina

RTG - rendgen

SH - sulfhidrilna skupina

SPECT - jednofotonska emisijska kompjuterizirana tomografija

Sv - siver

Tc-99m-DISIDA - tehnećij-99m-diizopropil-iminodijetena kiselina

Tc-99m-HMPAO - tehnećij-99m-heksametilpropilenamin oksim

Tc-HOT - "vruće" tehnećijski laboratorij

Y - itrij

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	
SUMMARY	
1. UVOD	1
1.1. Načini radioaktivnog raspada.....	1
1.1.1. Alfa-raspad	1
1.1.2. Beta-raspad	2
1.1.2.1. Beta-plus raspad.....	2
1.1.2.2. Beta-minus raspad.....	2
1.1.3. Uхват elektrona.....	3
1.1.4. Gama emisija	3
1.2. Učinci ionizirajućeg zračenja.....	4
1.2.1. Tijek zbivanja u organizmu nakon ozračivanja	4
1.2.2. Teorije o djelovanju ionizirajućeg zračenja na živu tvar.....	4
1.2.3. Najosjetljiviji dijelovi stanica	4
1.2.4. Radiobiološka oštećenja	4
1.2.5. Čimbenici koji utječu na tip i jakost bioloških oštećenja uzrokovanih ionizirajućim zračenjem.....	5
2. UVJETI ZA PRIMJENU IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U MEDICINI	6
3. DIJAGNOSTIKA I TERAPIJA	9
3.1. Najvažnije metode ispitivanja i liječenja	9
3.1.1. Rendgen (RTG) / Radiografija	9
3.1.2. Kompjuterizirana tomografija (CT).....	10
3.1.3. Scintigrafija.....	11
3.2. Ispitivanja i liječenja pojedinih organa i organskih sustava.....	13
3.2.1. Endokrinologija	13
3.2.2. Srce, pluća i krvne žile.....	13
3.2.3. Koštani sustav	14
3.2.4. Gastroenterologija.....	14
3.2.5. Neurologija	15
3.2.6. Nefrologija i urologija	15
3.2.7. Hematologija.....	15
3.2.8. Tumori i upale.....	15
3.2.9. Ostala ispitivanja i liječenja.....	16
4. GOSPODARENJE MEDICINSKIM OTPADOM	16
5. RADIOAKTIVNI OTPAD	19

5.1. Općenito	19
5.2. Radioaktivni otpad u nuklearnoj medicini	19
5.3. Odlaganje radioaktivnog otpada u nuklearnoj medicini	20
6. ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA.....	24
6.1. Institucionalni RAO i II	27
6.2. Ciljevi.....	28
6.3. Zakonodavni okvir	29
6.4. Raspodjela odgovornosti.....	30
6.5. Osiguranje sredstava	31
6.6. Ljudski resursi.....	31
6.7. Sudjelovanje javnosti	31
6.8. Uvoz i izvoz	32
6.9. Zbrinjavanje	32
5.10. Sanacija	33
7. ZAKLJUČAK	34
8. LITERATURA.....	35
9. ZAHVALE	38
10. ŽIVOTOPIS	39

Zbrinjavanje radioaktivnog otpada nakon medicinske dijagnostike i terapije

Dean Smojver

SAŽETAK

Apsorpcija ionizirajućeg zračenja u organizmu izaziva ionizaciju ili ekscitaciju molekula. Energija oslobođena tom ionizacijom dovodi do kemijskih promjena, prilikom čega se stvaraju slobodni radikali koji mogu uzrokovati ireverzibilna oštećenja molekula koje su esencijalne za biološko funkcioniranje stanice. Na takav način nastaju biokemijske (metaboličke) promjene, posljedica čega mogu biti fiziološka ili morfološka oštećenja i/ili mutacije stanice koje primarno djeluju na jezgru, ali i na druge stanične dijelove. Oštećenja stanice očituju se usporenjem stanične diobe, staničnom smrću i preobrazbom u zloćudne stanice.

Različite dijagnostičke metode koje se primjenjuju u medicini, poput rendgena (RTG), kompjuterizirane tomografije (CT) i scintigrafije pored svog pozitivnog, nažalost, imaju i negativan utjecaj na zdravlje čovjeka. Pozitivan utjecaj očituje se u brzini i točnoj dijagnostici koja je neophodna pri liječenju mnogih bolesti, a negativan u tome što su ljudi izloženi tim (i još nekim) dijagnostičkim metodama istovremeno izloženi i određenoj dozi zračenja koja se emitira njihovom primjenom i koja posljedično može dovesti do karcinoma.

Navedene dijagnostičke metode generiraju proizvodnju medicinskog otpada koji je radioaktivan te, kao takav, vrlo opasan i mora biti adekvatno zbrinut u posebnim skladištima, kako bi se na taj način osigurala zaštita zdravlja ljudi i okoliša od radijacije. Pri zbrinjavanju radioaktivnog otpada, moraju se jasno definirati ciljevi tog postupka, osigurati zakonodavni okvir, raspodjela odgovornosti između nadležnih institucija, financijska sredstva te odgovarajući broj ljudi zadužen za ispunjavanje navedenog zadatka.

Ključne riječi: ionizirajuće zračenje, dijagnostičke metode, medicinski otpad, radioaktivni otpad.

Disposal of radioactive waste after medical diagnostic and therapy

Dean Smojver

SUMMARY

Absorption of ionizing radiation in the organism causes ionization or excitation of molecules. Energy released by ionization leads to chemical changes, during which the free radicals are created, which can cause irreversible damage to molecules that are essential for biological functioning of a cell. This is how biochemical (metabolic) changes are made, result of which can be physiological or morphological damage and/or mutation of a cell that primarily influence the core, but also other cell parts. Cell damage manifests itself by slowing of the cell division, cell decay and transformation into malignant cells.

Different diagnostic methods that are applied in medicine like X-ray (RTG), computerized tomography (CT) and scintigraphy, along with everything positive, also have negative effects on human health. Positive effects are manifested by accurate diagnostic which is necessary for treating many illnesses, while negative are that people who are exposed to these (and some other) diagnostic methods in the same time exposed to a certain amount of radiation which is emitted by their appliance and which can lead to cancer. The mentioned diagnostic methods generate radioactive medical waste that, as such, is very dangerous and has to be adequately disposed of in special warehouse, to ensure the safety of people environment from the radiation.

The goals of disposal of radioactive waste have to be clearly defined, legislative frame ensured, responsibility of institutions in charge and financial funds allocated, as well as an adequate number of people engaged in fulfilling the mentioned task.

Key words: ionizing radiation, diagnostic methods, medical waste, radioactive waste.

1. UVOD

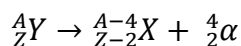
Ionizirajuće zračenje je fotonsko (elektromagnetsko) ili čestično (korpuskularno) zračenje koje u međudjelovanju s tvarima u određenoj mjeri ionizira te tvari. Ionizirajuće zračenje popratna je pojava mnogih prirodnih događanja u mikrosvijetu (prirodno zračenje) i umjetno potaknutih procesa (umjetno zračenje). Međudjelovanje ionizirajućeg zračenja i tvari osobito je ovisno o nositeljima zračenja (fotoni ili čestice) i energiji zračenja. Pojedine vrste i područja energije zračenja povijesno su dobili nazive: rendgensko zračenje elektromagnetsko je zračenje malih valnih duljina, u rasponu od 10 nm približno do 0,1 pm, gama-zračenje (γ -zračenje) elektromagnetsko je zračenje valnih duljina manjih od 0,1 pm, alfa-zračenje je čestično zračenje sastavljeno od brzih atomskih jezgara helija (α -čestice), beta-zračenje (β -zračenje) čestično je zračenje sastavljeno od brzih elektrona (β^- čestica) ili pozitrona (β^+ čestica). Ostale se vrste ionizirajućeg zračenja prepoznatljivo nazivaju, npr. neutronske zračenje, protonsko zračenje itd. Mjera za međudjelovanje ionizirajućeg zračenja i tvari je apsorbirana doza, koja je određena omjerom energije zračenja apsorbirane u tijelu i mase ozračenog tijela, a jedinica apsorbirane doze je Gy (grej). U međudjelovanju sa živom tvari, ionizirajuće zračenje razgrađuje živa tkiva. Zato su za primjenu i praćenje ozračivanja iz prirodnih ili umjetnih izvora za određene okolnosti i rizike propisane granične doze kojima čovjek smije biti ozračen. Prirodno je ozračivanje dio ljudskog okoliša, dok je umjetno ozračivanje posljedica ljudskog djelovanja. Efektivna (ekvivalentna) doza uključuje informacije o apsorpciji, vrsti ionizirajućeg zračenja, o tome je li cijelo tijelo ozračeno, koji dijelovi tijela su ozračeni i kolika je ukupna doza, a jedinica efektivne doze je Sv (sivert)¹.

1.1. Načini radioaktivnog raspada

Uzrok zračenju iz radioaktivnih elemenata je pretvorba jezgre jednog u jezgru drugog elementa².

1.1.1. Alfa-raspad

Emisijom alfa-čestica raspadaju se jezgre velikih atomskih brojeva. Alfa-čestica tvorevina je dvaju protona i dvaju neutrona pa će jezgra nastala njezinom emisijom imati redni broj za dva, a maseni broj za četiri manji od jezgre majke².



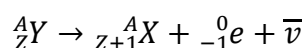
U velikim jezgrama s kraja periodnog sustava elemenata jake nuklearne sile nisu više dovoljne da kompenziraju odbojne elektrostatičke sile protona. Energija jezgre raste pa sustav postaje nestabilan. Takva jezgra prelazi u manju, stabilniju jezgru emisijom čestice i energije. Raspadom nastaju nova jezgra i alfa-čestica. Nova jezgra može biti nestabilna, ali je nužno da mala čestica bude stabilna i da ima veliku kinetičku energiju. Alfa-čestice vrlo su stabilne, a zbog dva osnovna razloga ne primjenjuju se u medicinskoj dijagnostici: zbog velike mase, prodiru u tkiva samo oko 0,1 mm, a zbog svojeg električnog naboja na tom putu jako ioniziraju tkivo pa su radiološka oštećenja velika².

1.1.2. Beta-raspad

Iz jezgre se emitira jedan elektron (beta-minus raspad) ili jedan pozitron (beta-plus raspad), što je određeno odnosom broja neutrona i protona u jezgri².

1.1.2.1. Beta-minus raspad

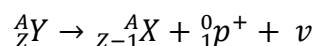
Izlazak elektrona iz jezgre tumači se pretvorbom neutrona u proton, elektron i antineutrino (nema ni masu, ni naboj), koji se označava s $\bar{\nu}$.



Beta-minus raspadom ne mijenja se maseni broj jezgre, već samo njezin redni broj, odnosno naboj. Nova jezgra je više pozitivna pa je njezin redni broj veći za jedan. Pri mjerenju energije emitiranih beta-čestica kontinuirana je raspodjela kinetičkih energija između 2 keV i 3 keV, pri čemu je maksimalna vrijednost kinetičke energije jednaka energijskoj razlici jezgara majke i kćeri. Nova jezgra nastala beta-raspadom često je u pobuđenom energijskom stanju te se u osnovno stanje relaksira emisijom fotona elektromagnetskog zračenja, gama-kvanta².

1.1.2.2. Beta-plus raspad

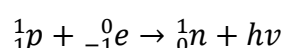
Nestabilnost izotopa nekih jezgara uzrokovana je smanjenim brojem neutrona prema broju neutrona stabilnog izotopa. Takve se jezgre raspadaju, emitirajući pozitrone, a ν označava neutrino².



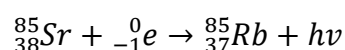
Maseni broj jezgre nastale beta-plus raspadom se ne mijenja, ali zbog gubitka jednog protona redni broj smanjuje se za jedan².

1.1.3. Uхват elektrona

Izotopi teških jezgara koji imaju broj neutrona premalen prema broju protona "uhvate" jedan elektron iz vlastitog elektronskog omotača (obično iz K ljuske) i procesom



transmutiraju u stabilnu jezgru s rednim brojem manjim za jedan. Tako stroncij prelazi u rubidij, a $h\nu$ označava energiju fotona².



Transmutacija jezgre uhvatom elektrona praćena je emisijom x-zračenja. Prazno mjesto elektrona u K-ljusci popuni elektron iz više ljuske i pritom emitira elektromagnetsko zračenje iz područja x-kvanata. Proton je stabilna čestica, bez obzira na to je li u vezanom ili slobodnom stanju. Neutron je stabilna čestica ako je vezan, ali slobodan je nestabilan. Vrijeme poluraspada slobodnog neutrona je 10,6 minuta².

1.1.4. Gama-emisija

Većina jezgara nastalih radioaktivnim alfa i beta-raspadom je u pobuđenom stanju i relaksiraju se tako da emitiraju fotone. Jezgra će biti u osnovnom stanju kad su popunjene sve najniže energijske razine, a ekscitirana je ako neki nukleoni (protoni i neutroni) imaju veće energije. Prijelaz nukleona unutar jezgre s više na nižu energijsku razinu prati emisija gama-fotona. Iz jezgre mogu biti emitirani kvanti samo točno određene energije. Emisijom gama-kvanta ne mijenja se broj ni protona ni neutrona u jezgri pa je to samo način energijske stabilizacije pobuđene jezgre. Dakle, gama-kvant može emitirati i jezgra koja je dovedena u ekscitirano stanje drugim pobudnim mehanizmom, a ne nužno radioaktivnim čestičnim raspadom. Energije su gama-fotona od 0,2 MeV do 1,3 MeV pa je njihova prodornost u tkivu

velika. Zato se gama-emiteri primjenjuju u dijagnostici. No, kako u prirodi nema čistih gama-emitera, potrebno je proizvoditi meta-stabilne gama-emitere u posebnim postrojenjima².

1.2. Učinci ionizirajućeg zračenja

1.2.1. Tijek zbivanja u organizmu nakon ozračivanja

Apsorpcija ionizacijskog zračenja u organizmu izaziva ionizaciju ili ekscitaciju molekula. Energija oslobođena ionizacijom dovodi do kemijskih promjena (stvaraju se slobodni radikali) koje mogu uzrokovati ireverzibilna oštećenja na molekulama bitnima za biološko funkcioniranje stanice. To može uzrokovati biokemijske (metaboličke) promjene, posljedica čega mogu biti fiziološka ili morfološka oštećenja i/ili mutacije³.

1.2.2. Teorije o djelovanju ionizirajućeg zračenja na živu tvar

Postoje dvije teorije: teorija izravnog i posrednog djelovanja. Teorija izravnog djelovanja kaže da oštećenja na stanici nastaju izravnim pogotkom određenog kvanta energije u neki osjetljivi dio stanice, tzv. metu, a posljedica čega je inaktivacija ili smrt stanice. Teorija posrednog djelovanja objašnjava utjecaj ionizacijskog zračenja na živu tvar radiolizom vode i stvaranjem slobodnih radikala (H i OH radikali). Slobodni su radikali vrlo reaktivni, jer nose nespareni elektron pa brzo reagiraju međusobno, ali i s drugim molekulama, mijenjajući ih. U organizmu, ionizacijsko zračenje djeluje na oba načina³.

1.2.3. Najosjetljiviji dijelovi stanica

Jezgra, odnosno DNK (dezoksiribonukleinska kiselina) koja se nalazi u jezgri najosjetljivija je stanična meta za letalno oštećenje, nadalje osjetljiva je i stanična membrana, u prvom redu membrane lizosoma, endoplazmatskog retikuluma i mitohondrija³.

1.2.4. Radiobiološka oštećenja

Na molekularnoj razini, nastaju oštećenja makromolekula kao što su enzimi, RNK (ribonukleinska kiselina) i DNK. Oštećenja na razini stanice očituju se usporenjem stanične diobe, staničnom smrću i preobrazbom u zloćudne stanice. Oštećenja na razini tkiva i organa jesu: oštećenja krvotvornog, probavnog, krvožilnog i središnjeg živčanog sustava³.

1.2.5. Čimbenici koji utječu na tip i jakost bioloških oštećenja uzrokovanih ionizirajućim zračenjem

Doza ionizirajućeg zračenja - količina energije koju ionizirajuće zračenje preda određenoj tvari (=apsorbirana doza). Veća količina efektivne doze uzrokuje veća oštećenja³.

Brzina doze zračenja - količina energije ionizirajućeg zračenja koju ono preda određenoj količini tvari u jedinici vremena. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja obrnuto su proporcionalni duljini ozračivanja, dakle ako se jedna te ista doza aplicira u duljem vremenu, organizam će pretrpjeti manju štetu³.

Topografska raspodjela doze - ovisi o tome je li riječ o općoj ili lokalnoj raspodjeli doze. Naravno, oštećenja će biti manja ako se jedna te ista doza aplicira lokalno³.

Način ozračivanja i vrsta ionizirajućeg zračenja. Pri unutarnjem ozračivanju, organizam se ozračuje dulje vrijeme (može i cijelog života), izvor zračenja u izravnom je dodiru s nekim tkivom, ozračuje ga iz svih smjerova i može izazvati lokalno relativno visoke radijacijske doze (alfa-zračenje i beta-zračenje), a ozračivanje je najčešće nehomogeno. Alfa-zrake su, kao izvor vanjskog zračenja, zanemarive zbog slabe prodornosti, ali gama-zrake neusporedivo su opasnije od njih³.

Osjetljivost ozračenog tkiva - sve stanice nisu jednako osjetljive. Osjetljivije su one koje se aktivno dijele, one čija je dioba intenzivna te one koje su morfološki i funkcionalno nediferencirane. Radioosjetljivost pojedinih tkiva izravno je sukladna mitotičnoj aktivnosti i obrnuto sukladna stupnju diferencijacije stanica. Otporniji na ionizirajuće zračenje su jetra, bubrezi, mišići, kosti, hrskavica i vezivno tkivo, a osjetljiviji su koštana srž, ovariji, testisi i crijeva³.

Prisutnost kisika - u prisutnosti normalnih količina kisika, gotovo svi biološki sustavi osjetljiviji su na x-zrake i gama-zrake. Ta sposobnost kisika da pojača učinke ionizirajućeg zračenja zove se učinak kisika. Međutim, premda utječe na jakost radijacijskog oštećenja,

kisik ne utječe na tip (kvalitetu) učinka, jer smanjuje dozu zračenja potrebnu da se postigne neki radiobiološki učinak³.

Spojevi koji pojačavaju osjetljivost hipoksičnih stanica, npr. tumorskih stanica - acetofenoni, nitrofurani, glioksali i nitromidazoli³.

Spojevi koji štite od zračenja - spojevi koji sadrže sulfhidrilnu (SH) skupinu: cistein, cistamin, cisteamin, merkaptotilgvanidin i glutation. Da bi postigli svoj protektivni učinak, oni moraju postojati u organizmu u vrijeme ozračivanja i moraju biti blizu kritičnog mjesta radijacijskog oštećenja. Njihov unos nakon ozračivanja nema učinka³.

2. UVJETI ZA PRIMJENU IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U MEDICINI

Pravilnikom o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini propisuju se uvjeti, način i mjere zaštite osoba izloženih ionizirajućem zračenju tijekom primjene izvora ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke ili terapijske svrhe, osoba ozračenih u sklopu zdravstvenog pregleda za radno mjesto, osoba ozračenih u sklopu sustavnog pregleda, osoba koje dragovoljno sudjeluju u medicinskim i biomedicinskim, dijagnostičkim ili terapijskim, istraživačkim programima koji uključuju uporabu izvora ionizirajućeg zračenja, osoba ozračenih u sklopu medicinsko-pravnih postupaka te osoba koje svjesno i dragovoljno pridržavaju i pomažu pacijentima tijekom dijagnostičkih ili intervencijskih pregleda ili postupaka u medicini i dentalnoj medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja⁴.

Klinička odgovornost jest odgovornost nadležnog doktora medicine obzirom na medicinsko ozračivanje pojedinca, posebice u odnosu na opravdanost, optimizaciju, kliničku evaluaciju ishoda, suradnju s drugim doktorima medicine drugih specijalnosti i (po potrebi) s drugim zaposlenicima, a vezano uz praktične aspekte, dobivanje informacija o prethodnim pregledima i postupcima, davanje postojećih informacija i/ili zapisa doktorima medicine drugih specijalnosti i/ili predlagateljima (kada je to potrebno), davanje informacija pacijentima i drugim uključenim osobama o rizicima vezanim uz ionizirajuće zračenje⁴.

Klinički audit jest sistematsko ispitivanje ili provjera dijagnostičkih, intervencijskih ili terapijskih pregleda ili postupaka u medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja s ciljem unapređenja kvalitete i ishoda skrbi o pacijentu kroz strukturirani pregled, pri čemu se

postupci, procedure i rezultati uspoređuju s prihvaćenim standardima dobrih medicinskih dijagnostičkih, intervencijskih ili terapijskih pregleda ili postupaka u medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, uz izmjenu načina postupanja gdje je tako naznačeno te primjenu novih standarda, ako je potrebno⁴.

Korisni snop jest snop ionizirajućeg zračenja koji izlazi iz otvora kućišta električnog uređaja koji proizvodi ionizirajuće zračenje, čija se veličina i oblik određuju kolimatorom⁴.

Osobna šteta jesu klinički vidljivi štetni efekti vezani uz ionizirajuće zračenje, a mogu biti rani ili odgođeni i koji se javljaju kod osoba ili njihovih potomaka. U slučaju odgođenih efekata, osobna šteta vezana je uz vjerojatnost, a ne uz izvjesnost pojave iste⁴.

Praktični aspekt jest fizičko provođenje ozračivanja osoba i bilo kojih dodatnih odgovarajućih aspekata, uključujući rukovanje i uporabu uređaja i opreme koja se koristi pri provođenju dijagnostičkih, intervencijskih ili terapijskih pregleda ili postupaka u medicini uporabom izvora ionizirajućeg zračenja, procjenu tehničkih i fizikalnih parametara, uključujući doze zračenja, umjeravanje i održavanje uređaja i opreme, pripremu i primjenu radioaktivnih tvari koje se unose u tijelo pacijenta, kao i razvijanje filmova⁴.

Sustavni pregled jest dijagnostički pregled koji uključuje uporabu izvora ionizirajućeg zračenja, s ciljem ranog otkrivanja bolesti u rizičnim skupinama ljudi⁴.

Ozračivanje pacijenata mora biti opravdano, odnosno ukupna dobit pojedinca i društva od potencijalnog dijagnostičkog, intervencijskog ili terapijskog pregleda ili postupka uporabom izvora ionizirajućeg zračenja mora biti veća od osobne štete koju ozračivanje može uzrokovati, uzimajući u obzir učinkovitost, dobit i rizik drugih raspoloživih postupaka i tehnika koje ne uključuju uporabu izvora ionizirajućeg zračenja ili uzrokuju manje ozračivanje pacijenta. Ozračivanje u svrhu medicinskog ili biomedicinskog istraživanja mora biti odobreno od strane odgovarajućeg etičkog povjerenstva, sukladno posebnim propisima. Ozračivanje, osim u slučaju terapijskog postupka, mora biti toliko nisko koliko je razumno moguće postići uz zadržavanje potrebne kakvoće dijagnostičke informacije, uvažavajući ekonomske i socijalne čimbenike. Ozračivanje ciljanog volumena mora biti planirano za svakog pojedinog pacijenta, pri čemu ozračivanje zdravog volumena i tkiva mora biti toliko nisko koliko je razumno moguće postići i u skladu s namijenjenom terapijskom svrhom ozračivanja⁴.

Osobe koje nisu izloženi radnici, a koji tijekom provedbe dijagnostičkog pregleda ili postupka uporabom rendgenskog uređaja pridržavaju nepokretne pacijente i druge osobe koje ne mogu samostalno ostati u položaju potrebnom za provođenje tog pregleda ili postupka, moraju koristiti zaštitne pregače jednakovrijednog zaštitnog učinka kao i olovo debljine od najmanje 0,5 mm, a po potrebi i zaštitne rukavice, zaštitne okovratnike i naočale s olovnim staklima istog zaštitnog učinka. Izloženi radnici u okviru svog radnog mjesta, trudnice, žene za koje postoji vjerojatnost trudnoće i osobe mlađe od 18 godina ne smiju pridržavati nepokretne pacijente tijekom provedbe dijagnostičkog pregleda ili postupka uporabom rendgenskog uređaja. Za svakog pojedinog pacijenta tijekom planiranja i pripreme dijagnostičkog pregleda ili intervencijskog postupka potrebno je uzeti u obzir njegovu dob, građu i tjelesnu masu. Zdravstvena opravdanost dijagnostičkog, intervencijskog ili terapijskog pregleda ili postupka uporabom izvora ionizirajućeg zračenja procjenjuje se ovisno o vrsti i težini bolesti, stupnju neposredne ugroženosti života i zdravlja pacijenta, starosti i spolu pacijenta te mogućoj osobnoj šteti pacijenta⁴.

Dijagnostički i terapijski postupci uporabom otvorenih radioaktivnih izvora ovise o: vrsti radionuklida i kemijskog spoja u kojem se koristi, aktivnosti ili koncentraciji pripravka koji se unosi u tijelo pacijenta, mjestu i načinu unosa, ciljnom organu te drugim relevantnim podacima. Pri terapijskim postupcima, uporabom električnih uređaja i zatvorenih radioaktivnih izvora upisuje se doza koju je tijekom ozračivanja pacijent primio, a po potrebi i odgovarajući skup relevantnih podataka. Pri zaštiti djece, naročito se mora osigurati zaštita štitne žlijezde, očnih leća i dojke djeteta. Pri zaštiti trudnica i žena koje doje, dijagnostički postupak uporabom radiofarmaceutskih pripravaka primjenjuje se iznimno, kad za neodgodivu primjenu tog postupka postoje opravdani zdravstveni pokazatelji po prosudbi doktora medicine odgovarajuće specijalnosti koji odobrava taj postupak, pri čemu utvrđuje uvjete provedbe tog postupka kojim će se osigurati najmanje moguće ozračivanje pacijentice i djeteta, a da se pri tom dobiju dijagnostički podaci optimalne kakvoće⁴.

Sustavno preventivno snimanje dojki za žene do 40 godina starosti bez jasnih medicinskih pokazatelja za svakog pojedinog pacijenta nije medicinski opravdano ozračivanje. No, to se ne odnosi na žene s poznatim povećanim rizikom oboljenja. Ženi u dobi od 40 do 49 godina preporučuje se preventivno snimanje dojki jedanput u dvije godine u svrhu ranog i pravovremenog otkrivanja tumora dojke, a za žene u dobi iznad 50 godina preventivno snimanje dojki u svrhu ranog i pravovremenog otkrivanja tumora dojke preporučuje se jedanput godišnje. Zaštitnim mjerama uz primjenu odgovarajućih zaštitnih sredstava naročito

se mora osigurati zaštita štitne žlijezde, očnih leća, jajnika ili sjemenika i krvotvornih organa pacijenta⁴.

Uređajem za ograničavanje polja zračenja koji je ugrađen na otvoru kućišta rendgenske cijevi za prolaz korisnog snopa mora se smanjiti presjek korisnog snopa na ulazu u tijelo pacijenta na veličinu koja omogućuje postizanje očekivane kakvoće slikovnog podatka na prijemnom sustavu unutar rubova ulazne površine elektronskog pojačala slike ili kasete. Kasete za snimanje i ciljano snimanje moraju imati ulaznu površinu od materijala koji slabo apsorbiraju rendgensko zračenje (plastika, ugljikova vlakna). Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost obavezan je najmanje svakih 10 godina izraditi raspodjelu procijenjenih doza pacijenata za stanovništvo, a za relevantne grupe stanovništva ako procijeni potrebnim⁴.

3. DIJAGNOSTIKA I TERAPIJA

3.1. Najvažnije metode ispitivanja i liječenja

3.1.1. Rendgen (RTG)/ Radiografija

Metoda rendgena jedna je od najraširenijih dijagnostičkih metoda u medicini i primjenjuje se još od 1895. godine. Pored toga što ima pozitivnu ulogu (brza dijagnostika), ima i negativnu, a to su njeni štetni učinci zračenja. Kontinuirano zračenje je rendgensko zračenje koje nastaje kao posljedica kočenja elektrona pri ulasku u metalnu metu. Rendgenska (vakuumaska) cijev sastoji se od katode (uz koju je žarna nit) i anode. U vakuumskoj RTG cijevi "narinut" je visoki napon. Kad žarnom niti teče električna struja, ona se užari pa izbacuje elektrone koji se ubrzavaju u električnom polju između dvije elektrode. Elektroni udaraju u anodu koja se vrti (kako bi imala bolje hlađenje), pri čemu se 99% kinetičke energije elektrona pretvara u toplinu, a 1% u elektromagnetsko zračenje visokih energija, u području rendgenskog zračenja, koje pod pravim kutom izlazi kroz mali otvor na RTG cijevi. Nakon što te rendgenske x-zrake prođu kroz naše tijelo, "hvataju" se na RTG filmu (fotosloj sa srebrnim bromidom).

Pojednostavljeno rečeno, nastanak slike temelji se na nakupljanju srebra u točkama prolaza x-zraka kroz film. Primjena u medicini obuhvaća snimke kostiju, zglobova, kralješnice, ali i organa prsnog koša (srce, pluća...)⁵.

3.1.2. Kompjuterizirana tomografija (CT)

CT uređaji spadaju u grupu rendgenskih uređaja. To je slojevno snimanje tijela, pri čemu se intenzitet zračenja detektira na većem broju detektora, nakon što se određeni intenzitet zračenja apsorbira u tijelu. Konvencionalni CT uređaji temelje se na tankoj rendgenskoj zruci koja prolazi kroz tijelo u poprječnom presjeku, uz rotaciju rendgenske cijevi oko pacijenta. Elektronički detektori, koji su smješteni nasuprot rendgenske cijevi, konvertiraju RTG zrake u električne impulse. Jakost impulsa ovisi o količini neapsorbiranih RTG zraka koje su prošle kroz pacijenta. Svaka nova generacija CT-uređaja povećavala je brzinu rotacije i broj detektora, što je rezultiralo većom brzinom snimanja, boljom prostornom rezolucijom te većim dijagnostičkim mogućnostima. Uvođenje tzv. "slipring" tehnologije rezultiralo je razvojem spiralnog CT uređaja, čiji je temelj konstantna rotacija RTG cijevi uz istovremeno kontinuirano pomicanje stola za snimanje pa je rezultat toga kontinuirani volumni prikaz određenog dijela tijela. Uređaji za višeslojni CT uvode mnogo (4, 8, 16 ili 64) redova detektora, što omogućuje odgovarajući broj prikaza slojeva jednom rotacijom RTG cijevi, čime se ubrzava pregled i omogućuju CT-angiografija i CT-koronarografija. Ujedno, moguća je rekonstrukcija slike iste kvalitete u frontalnim, postraničnim te kosim presjecima. Metoda CT-a često se komparira s metodom magnetske rezonancije, no za razliku od MR-a, pregled CT-om traje kraće (oko 5 minuta), koristi ionizirajuće zračenje, a često se radi u hitnoj službi, da bi se isključilo krvarenje glave, zatim služi za snimanja kralješnice, analizu krvnih žila mozga, vrata, prsnog koša, abdomena i ekstremiteta⁶.

Tablica 1. Vrijednosti doznih indeksa te umnožaka apsorpcijske doze i duljine u CT dijagnostici⁴.

Pregled	CTDI _w (mGy)	DLP (mGycm)
Glava	60	1050
Lice i sinusi	35	36
Vertebralna trauma	70	460
Toraks	30	650
HRCT	35	280
Abdomen	35	780
Jetra i slezena	35	900
Zdjelica	35	570
Kosti zdjelice	25	520

CTDI_w - CT dozni indeks, DLP - umnožak doze i duljine

3.1.3. Scintigrafija

Dijagnostička slikovna metoda za snimanje biodistribucije radiofarmaka u tijelu, pri čemu se prati prostorna i vremenska raspodjela radioaktivnosti i dobiva snimka organa u kojem se radiofarmak nakupio. Za razliku od tomografskih tehnika (CT, PET, SPECT) kojima se može dobiti slikovni prikaz trodimenzionalnog rasporeda aktivnosti u organu, scintigram je njihov dvodimenzionalni prikaz. Na raspored pojedinog radiofarmaka utječu anatomske odnose, građa organa te funkcija organa i tkiva. Scintigraf je uređaj kojim se, fokusirajući detektor, pomiče automatski i postupno stvara slika raspodjele aktivnosti na papiru ili filmu. Gama-kamera stvara sliku istodobno i brže za čitavo vidno područje. Za razliku od njih, spomenuta tomografska snimanja obavljaju se gama-kamerama koje rotiraju oko tijela⁷.

Tablica 2. Granice efektivne doze za različite kategorije osoba ozračene od pacijenta kojem je u svrhu terapije otvorenim radioaktivnim izvorima primijenjen radionuklid nakon otpuštanja iz bolnice⁴.

Osoba	Granice efektivne doze	
	po postupku	u 5 godina
Osobe (osim trudnica) koje skrbe i pomažu bolesniku (dragovoljno)	5 mSv	-
Ostale osobe u domaćinstvu	1 mSv	5 mSv
Pojedini pripadnici stanovništva	0.3 mSv	5 mSv

mSv - milisivert

Tablica 3. Preporučene vrijednosti apsorpcijskih doza za najčešće dijagnostičke preglede i intervencijske postupke uporabom rendgenskih uređaja u medicini, za tipičnog odraslog pacijenta⁴.

Pregled		Ulazna površinska apsorbirana doza po jednoj snimci (mGy)
Lumbalna kralježnica	AP	10
	L	30
	LSJ	40
Želudac, intravenozna urografija i kolecistografija	AP	10
Zdjelica	AP	10
Kukovi	AP	10

Pluća	PA	0.3
	L	1.5
Torakalna kralježnica	AP	7
	L	20
Zubi	Periapikalno	7
Lubanja	AP	5
	PA	5
	L	3

AP - anterior-posterior projekcija (ulazno zračenje s prednje strane pacijenta) , LAT - lateralna projekcija (ulazno zračenje sa strane pacijenta), LSJ - lumbalno-sakralni spoj projekcija, PA - posterior-anterior projekcija (ulazno zračenje sa stražnje strane pacijenta)

3.2.Ispitivanja i liječenja pojedinih organa i organskih sustava

3.2.1. Endokrinologija

Primarno je ispitivanje štitnjače scintigrafijom i radionuklidima, jer štitnjača je endokrina žlijezda (a možda i organ) čiju fiziologiju i patofiziologiju najbolje poznajemo. Radiojod I-131 koristi se u liječenju difuzne hipertireoze, toksičnog adenoma i nekih oblika raka, a daje se peroralno, dok se radionuklidi koriste i u ispitivanju paratireoidnih i nadbubrežnih žlijezda⁸.

3.2.2. Srce, pluća i krvne žile

Najznačajnija su scintigrafska ispitivanja miokarda pomoću talija-201 i tehnečija-99m, kojima se pozitivno prikazuje zdravi, perfundirani miokard. Najčešće se rabe u procjeni suženja koronarnih krvnih žila. Tehnečijem-99m obilježeni pirofosfat nakuplja se u infarciranom miokardu i služi za procjenu nekih oblika infarkta, a radiofarmacima tehnečija mogu se scintigrafski prikazati šupljine srca i krvnih žila. Snimanja prvog prolaska vaskularnih radiofarmaka kroz srce primjenjuju se za dijagnostiku intrakardijalnog shunta i za mjerenje istisne frakcije klijetki. Nakon raspodjele radiofarmaka po krvi, snimanjima srca mjeri se i istisna frakcija i regionalna kontraktilnost klijetki, a osobito česta je radionuklidna flebografija. Za ispitivanja pluća rabe se ventilacijska i perfuzijska scintigrafija, kojima se dobivaju podaci o regionalnoj ventilaciji i perfuziji⁹.

3.2.3. Koštani sustav

Scintigrafija koštanog sustava osteotropnim radiofarmacima (radiofarmaci koji se nakupljaju u kosti) spada među najčešće primjenjivane metode u nuklearnoj medicini. Tc-99m pertehnetat daje se intravenski, a nakuplja se u koštanom hidroksiapatitu te pojačano ili smanjeno na mjestima oštećenja kosti. Scintigrafski prikaz zglobova indiciran je pri procjeni upala. Scintigrafija koštane srži izvodi se na dva načina: prikazom retikuloendotelnog dijela srži ili prikazom eritroidnih prekursora u srži. U osteoporozi primjenjuje se koštana denzitometrija, kojom se gustoća kosti mjeri prolaskom elektromagnetskog - gama ili x-zračenja¹⁰.

3.2.4. Gastroenterologija

Scintigrafski prikaz jetre je tehnečijem obilježenim derivatima iminodiocetene kiseline, npr. Tc-99m-DISIDA, a prikazuju se sustav jetre i otjecanje žuči pa se to naziva hepatobilijarna scintigrafija. Koloidni preparati tehnečija važni su za koloidnu scintigrafiju jetre i slezene. Hemangiomi se scintigrafski prikazuju obilježenim eritrocitima, dok se slezena prikazuje pomoću toplinski oštećenih i tehnečijem obilježenih autolognih eritrocita. Ipak, najčešća ispitivanja su ispitivanja tranzita pomoću obilježenih sastojaka hrane, ispitivanja krvarenja obilježivačima krvi i ispitivanja gubitka proteina u crijevu pomoću obilježenih proteina. Ektopična želučana sluznica u Meckelovu divertikulu akumulira ion pertehnetata, što je važno ako on prokrvari¹¹.

3.2.5. Neurologija

Scintigrafija mozga pomoću Tc-99m pertehnetata pomaže u dijagnostici vaskularnih, upalnih i tumorskih procesa. No, zamjenjuje ju SPECT, jer se tako pomoću Tc-99m-HMPAO prikazuje perfundiranost mozga. Cisternografijom i mijelografijom s uštrcavanjem radiofarmaka u cerebrospinalni likvor prate se poremećaji cirkulacije, što je korisno u dijagnostici hidrocefalusa¹².

3.2.6. Nefrologija i urologija

Ispitivanja su pomoću tehnecijskih radiofarmaka, snimanjem gama-kamerom i analizom dinamičkih snimaka pomoću računala, što omogućava morfološku i funkcijsku dijagnostiku i određivanje separatnih klirensa, što je važno u dijagnostici renovaskularne hipertenzije i presađenih bubrega. Ispitivanja odvodnih putova i mokraćnog mjehura daju podatke o rezidualnoj mokraći (kod bolesti prostate) i o cistoureteralnom refluksu (u djece). Perfuzijska scintigrafija testisa važna je kod torzije testisa¹³.

3.2.7. Hematologija

Duljina života eritrocita, važna za dijagnostiku hemolitičkih anemija, određuje se pomoću eritrocita obilježenih kromom Cr-51. Dijagnozu perniciozne anemije potvrđuje Schillingov test resorpcije vitamina B12 obilježenog radioaktivnim kobaltom. Ferokinetika i ispitivanje metabolizma želuca provodi se pomoću željeza Fe-59¹⁴.

3.2.8. Tumori i upale

Scintigrafija obilježenim protutijelima ili imunoscintigrafija prikazuje raspodjelu ciljnog tumorskog antigena pomoću specifičnog obilježenog protutijela. U receptorskoj scintigrafiji prikazuju se receptori pomoću specifičnih agonista ili antagonista obilježenih radionuklidima - scintigrafije dopaminskih i benzodiazepinskih receptora (u neurologiji i psihijatriji) te scintigrafije transferinskih i somatostatinskih receptora (u onkologiji).

U scintigrafskoj dijagnostici upala rabe se slijedeći radiofarmaci: tehnecijem obilježen nanokoloid, leukociti obilježeni s Tc-99m-HMPAO, galij-67, obilježena monoklonska antigranulocitna protutijela i obilježen nespecifični poliklonski ljudski imunoglobulin IgG¹⁵.

3.2.9. Ostala ispitivanja i liječenja

Suzni putovi scintigrafski se mogu prikazati ukapavanjem radiofarmaka u oko. Slinovnice se scintigrafski prikazuju pomoću aniona, npr. Tc-99-pertehnetata nakon intravenske injekcije. Poslije injekcije obilježenih koloida u intersticijske prostore na nogama i rukama, scintigrafski se prikazuju regionalni limfni čvorovi pa je to radionuklidna limfografija¹⁶.

Radioaktivni fosfor liječi mijeloproliferativne bolesti, kao što je policitemija rubra vera. Apliciran intrakavitarno, P-32 indiciran je kod malignih pleuralnih i peritonealnih izljeva. Bolesti srži nadbubrežne žlijezde liječe se I-131-metajodobenzilguanidinom (MIBG). Postoji i radioimunoterapija, radioterapija pomoću radionuklida vezanog za protutumorsko protutijelo, koje se nakuplja u tumorskom tkivu¹⁷.

4. GOSPODARENJE MEDICINSKIM OTPADOM

U ukupnoj količini otpada, 97% čini neopasni otpad, dok preostalih 3% čini opasni otpad. Odlaganjem na odlagalište zbrinuto je 56% ukupne količine obrađenog otpada (proizvodnog i komunalnog) preuzetog s područja Republike Hrvatske, dok je postupcima oporabe obrađeno 44%. U odnosu na 2012. godinu uočeno je smanjenje u primjeni postupka odlaganja otpada za 10% te porast oporabe za 8%. U zadnjih nekoliko godina unaprijeđena je kvaliteta podataka, ali još uvijek se ne evidentiraju sve nastale količine opasnog otpada, koje su na godišnjoj razini procijenjene na 200.000 – 220.000 tona¹⁸.

U razdoblju od 2010. do 2013. godine zabilježeno je smanjenje ukupno prijavljenih količina medicinskog otpada za 15%, nakon čega se u 2015. u odnosu na 2013. bilježi porast za ukupno 36%. U 2015. godini ukupno je proizvedeno 4.232 tona medicinskog otpada, od čega 77% opasnog otpada, čije je sakupljanje i odlaganje podvrgnuto specijalnim zahtjevima radi prevencije infekcije, a koji se obrađuje sterilizacijom/autoklavanjem. Najveće količine medicinskog otpada proizvedene su obavljanjem djelatnosti zdravstvene zaštite (85%), a od toga najviše u bolnicama (77%)¹⁸.

Gospodarenje medicinskim otpadom obuhvaća odvojeno sakupljanje i privremeno skladištenje medicinskog otpada na mjestu nastanka, obuku osoblja povezanog s razdvajanjem, odvojenim sakupljanjem, označavanjem spremnika, privremenim skladištenjem, obradom medicinskog otpada na mjestu nastanka i vođenjem potrebnih evidencija i dostave podataka temeljem odredbi Zakona, ovog pravilnika i ostalih posebnih propisa. Proizvođač medicinskog otpada dužan je na mjestu nastanka osigurati gospodarenje ovim otpadom sukladno odredbama Zakona i ovom Pravilniku te posebnim propisima donesenim na temelju Zakona, a naročito u pogledu odvojenog sakupljanja, vođenja evidencije, spremanja u odgovarajuće spremnike i privremenog skladištenja u posebno odvojenom prostoru do obrade ili do predaje ovlaštenoj osobi ili do isporuke takvog otpada iz Republike Hrvatske¹⁹.

Prostor skladišta medicinskog otpada na mjestu nastanka, osim uvjeta za skladište otpada, sukladno posebnom propisu mora ispunjavati slijedeće uvjete: da ima nepropusne i otporne podne površine koje se lako čiste i dezinficiraju, biti opremljen vodom i kanalizacijom, biti lako dostupan osoblju zaduženom za interno gospodarenje otpadom kod proizvođača medicinskog otpada, biti zaključan kako bi se onemogućio pristup neovlaštenim osobama, biti lako dostupan uređajima i opremom za sakupljanje otpada (kolicima i slično), biti nedostupan životinjama, osobito glodavcima, pticama i kukcima, biti dobro osvijetljen i ventiliran te biti smješten tako da otpad ne može doći u kontakt s hranom i mjestom za pripremu hrane¹⁹.

Spremnici za sakupljanje opasnog medicinskog otpada moraju biti otporni na djelovanje opasnih svojstava sadržaja, na pucanje i probijanje ako su u pitanju oštri predmeti, na agresivne kemikalije i slično te moraju dobro podnositi uobičajene uvjete postupanja i prijevoza kao što su vibracije i promjene temperature, vlažnosti i tlaka. Svaki spremnik mora biti označen natpisom koji sadrži osnovne informacije o proizvođaču otpada s nazivom ustanove i odjela, ključnom broju i nazivu vrste otpada sukladno posebnom propisu i datumom predaje ovlaštenoj osobi. Ukoliko se opasni medicinski otpad radi obrade isporučuje iz Republike Hrvatske, spremnici moraju biti označeni sukladno propisima o prijevozu opasnih tvari i važećim međunarodnim sporazumima. Ovlaštena osoba dužna je sukladno odredbama Zakona, ovog Pravilnika i posebnog propisa kojim je uređen prekogranični promet otpadom, isporukom iz Republike Hrvatske osigurati obradu onih vrsta medicinskog otpada koje u Republici Hrvatskoj nije moguće obraditi. Zbrinjavanje medicinskog otpada postupcima odlaganja provodi se sukladno posebnom propisu kojim se uređuje odlaganje otpada. Proizvođač, sakupljač, prijevoznik i obrađivač medicinskog otpada dužni su uskladiti

gospodarenje medicinskim otpadom s odredbama ovog Pravilnika u roku od 60 dana od dana stupanja na snagu ovog Pravilnika¹⁹.

Građevine za gospodarenje otpadom su građevina za sakupljanje otpada, građevina za obradu otpada i centar za gospodarenje otpadom. Ne smatra se građevinom za gospodarenje otpadom građevina druge namjene u kojoj se obavlja djelatnost oporabe otpada. Postojeća odlagališta otpada, odnosno plohe/kazete na odlagalištima, koja će nakon 31. prosinca 2018. godine ispunjavati uvjete za rad (usklađena) moći će nastaviti s radom, a odlagališta koja ne ispunjavaju uvjete za nastavak rada, sukladno propisu kojim je reguliran način i uvjeti odlaganja otpada i rada za odlagališta otpada (neusklađena odlagališta), morat će se zatvoriti¹⁸.

Postojeći sustav gospodarenja medicinskim otpadom potrebno je unaprijediti te na prikladniji način riješiti gospodarenje pojedinim vrstama medicinskog otpada koje se trenutno izvoze. Uzevši u obzir rezultate analize raspoloživih podataka o medicinskom otpadu, a koji obuhvaćaju trogodišnje razdoblje, procjenjuje se da neće biti značajnijih promjena u dinamici nastajanja ove vrste otpada. Ipak, za razvoj učinkovitijeg sustava gospodarenja medicinskim otpadom potrebno je unaprjeđenje praćenja toka ove vrste otpada i osiguranje cjelovitih podataka. Također je potrebno unaprjeđenje postojećeg organizacijskog rješenja vezano za sakupljanje i obradu medicinskog otpada, a koje se osobito odnosi na razvoj kvalitetnijeg rješenja za obradu potencijalno infektivnog otpada¹⁸.

Sprječavanje nastanka otpada podrazumijeva mjere poduzete prije nego neka tvar, materijal ili proizvod postane otpad, u svrhu smanjenja količina otpada, uključujući ponovnu uporabu proizvoda i produljenje njihova životnog vijeka, smanjenje negativnih utjecaja nastalog otpada na okoliš i ljudsko zdravlje, te smanjenje sadržaja opasnih tvari u materijalima i proizvodima. Sprječavanje nastanka otpada pridonosi ostvarenju sljedećih općih ciljeva gospodarenja otpadom: odvajanje gospodarskog rasta od porasta količina nastalog otpada, očuvanje prirodnih resursa, smanjenje ukupne mase otpada koja se odlaže na odlagališta, smanjenje emisija onečišćujućih tvari u okoliš i smanjenje opasnosti za zdravlje ljudi i okoliš¹⁸.

5. RADIOAKTIVNI OTPAD

5.1. Općenito

Radioaktivni je otpad, prema definiciji Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), materijal koji sadrži ili je kontaminiran nuklidima u koncentracijama takvima da je nivo radioaktivnosti veći od vrijednosti specificiranih od strane kompetentnih tijela, a da pri tome materijal nema uporabnu vrijednost²⁰.

Radioaktivni otpad nastaje u djelatnostima u kojima se koristi ionizirajuće zračenje, a to su: medicina, energetika, industrija, znanost i poljoprivreda. Najviše radioaktivnog otpada stvara se radom nuklearnih elektrana i u svim fazama nuklearnog gorivnog ciklusa, počevši od kopanja uranske rude do dekomisije nuklearnih postrojenja²⁰.

Uredbom Vlade RH o uvjetima te načinu zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora i izvora ionizirajućeg zračenja koji se ne namjeravaju dalje koristiti (NN 44/2008) radioaktivni otpad, s obzirom na koncentraciju aktivnosti ili ukupnu aktivnost i vrijeme poluraspada radionuklida sadržanih u radioaktivnom otpadu, svrstava se u slijedeće razrede: izuzeti i otpušteni radioaktivni otpad, nisko radioaktivni kratkoživi otpad, nisko i srednje radioaktivni otpad (s dva podrazreda: kratkoživi i dugoživi) i visoko radioaktivni otpad²⁰.

Prema vremenu poluraspada (vrijeme za koje se raspadne polovina početnog broja jezgara), radioaktivni otpad podijeljen je u dvije kategorije, Prvu kategoriju čini onaj otpad čiji izotopi imaju vremena poluraspada manja ili jednaka 30 godina i naziva se kratkoživi otpad. U drugu kategoriju spada otpad čiji izotopi imaju vremena poluraspada veća od 30 godina i naziva se dugoživi otpad²⁰.

Prema konzistenciji, radioaktivni otpad dijeli se na kruti i tekući. Kruti otpad obuhvaća stare generatore, kontaminirane igle, kontaminirane staklene bočice, vatu, posteljinu itd. Tekući otpad obuhvaća suspenzije, otopine te biološke izlučevine, kao što su urin i feces²⁰.

5.2. Radioaktivni otpad u nuklearnoj medicini

Medicinski izvori zračenja su otvoreni i zatvoreni. Otvoreni su smješteni unutar bolnice, u prikladnim spremištima, a zatvoreni (nakon brahiterapije i teleterapije) spremaju se izvan

bolnice, u ovlaštenim postrojenjima. Otvoreni izvori obuhvaćaju dijagnostiku i terapiju u nuklearnoj medicini, analizu krvi u kliničkim laboratorijima te in vitro, in vivo i studije na životinjama u istraživačkim laboratorijima. Terapija otvorenim izvorima obuhvaća radiojodnu (I-131) i radionuklidnu (I-131, Y-90) terapiju. Pacijenti su, pri tome, veliki izvor zračenja, a osobito njihove izlučevine (opasni otpad)²⁰.

Kod zatvorenih izvora (organske otopine, urin), primjenjuje se kalibracija instrumenata (mjerača aktivnosti i gama kamera) te dogovor s nadležnim institucijama o odvozu za trajnu pohranu ili odlaganje. Kod radiojodne terapije pacijent je u izolacijskoj sobi te ima sanitarni čvor vezan s podzemnim spremnikom za odlaganje/razrjeđenje urina²⁰.

Radioaktivni materijali u medicini većinom su kratkoživi. Recimo, Tc-99m ima vrijeme poluraspada 6 sati, dok I-131 ima vrijeme poluraspada 8 dana. Radioaktivnim raspadom u spremištu razina radioaktivnosti pada ispod propisane granice pa je moguće kontrolirano ispuštanje iz nadzora. Za razliku od njih, dugoživi radionuklidi nepraktični su za spremanje u ustanovama i odvoze se u komercijalna licencirana odlagališta radioaktivnih izvora²⁰.

Koncentracija ispuštene radioaktivnosti (plin, tekućina) ne smije proći propisanu graničnu vrijednost za pojedini radionuklid. Aktivnost radioaktivnog otpada ispod propisane granice uzrokuje to da radioaktivni otpad postaje obični otpad koji može biti kemijski ili toksični²⁰.

5.3. Odlaganje radioaktivnog otpada u nuklearnoj medicini

Radioaktivni otpad podvrgnut je kontroliranom nadzoru u ustanovi u kojoj se nalazi, a nakon raspada radioaktivnosti primjenjuju se postupci primjereni sanitarnom otpadu. Kontrolirani nadzor postiže se zadržavanjem radioaktivnih tvari u prikladnom spremniku, sve do raspada aktivnosti na zanemarivu razinu. Pri kontroliranom nadzoru, ne smije doći do suvišnog ozračivanja bilo koga pa je glavna svrha pri odlaganju radioaktivnog otpada u medicini zaštita osoblja i sprečavanje kontaminacije prostora i opreme, a svim postupcima rukovodi osposobljena stručna osoba. Svako spremište radioaktivnog otpada trebalo bi imati prikladan štit od zračenja, adekvatnu ventilaciju, protupožarnu zaštitu, propisno označen prostor i biti pod ključem²¹.

Prije konačnog odlaganja radioaktivnog otpada obvezatno je izmjeriti razinu radioaktivnosti te pritom treba voditi pisani zapis o podrijetlu spremljenog otpada. Otpad se, prije odlaganja,

treba razvrstati, a to razvrstavanje ovisi o očekivanom vremenu trajanja radioaktivnog poluraspada te fizičkom obliku otpada, odnosno materijalu. Kod biološkog otpada, moguće je truljenje, kod infektivnog je (prije odlaganja) nužna sterilizacija, a razbijeno staklo i igle skupljaju se u posebnim spremnicima, ne bi li se tako izbjegle ozljede²⁰.

Tehnecijski (Tc-99m) radioaktivni otpad (bočice, šprice, stari generatori)

Bočice se skupljaju u kontejneru za radioaktivni otpad u "vruće" tehnecijskom Tc-HOT-laboratoriju. Kad se kontejner napuni do 3/4 svog kapaciteta, odlaze na odležavanje (7 dana) u kontejner u "vruće" jodnom laboratoriju (I-HOT laboratorij), a nakon odležavanja kontrolira se razina radioaktivnosti. Injekcijske štrcaljke se odlažu u kontejnere za radioaktivni otpad na radilištima. Kad se kontejner napuni (otprilike 40 štrcaljki), službujući tehničar poziva spremačicu koja ga odnosi na odležavanje (7 dana) u kontejner u I-HOT-laboratorij. Kontejneri u I-HOT laboratoriju obilježeni su po danima (ponedjeljak, utorak... - petak). Kontejneri se prazne nakon propisanog odležavanja (kontejner označen ponedjeljak prazni se slijedeći ponedjeljak – nakon 7 dana itd.), nakon čega se kontrolira razina radioaktivnosti²¹.

Jodni (I-131) radioaktivni otpad (bočice, injekcijske štrcaljke i slamke, kontaminirane jodom-131 i spojevima obilježenim njime)

Bočice se skupljaju u radnom tjednu u poseban kontejner u Tc-HOT-laboratorij, nakon čega odlaze na odležavanje u kasu (90 dana). Injekcijske štrcaljke vraćaju se s radilišta u Tc-HOT-laboratorij i odlaze na odležavanje u kasu (90 dana). Nakon odležavanja, kontrolira se razina radioaktivnosti. Slamke odlaze na odležavanje u kasu (90 dana). Nakon odležavanja, kontrolira se razina radioaktivnosti²¹.

Talijski (Tl-201) radioaktivni otpad (bočice i šprice)

Bočice se skupljaju u radnom tjednu u HOT-laboratoriju, nakon čega odlaze na odležavanje u kasu (45 dana). Injekcijske štrcaljke skupljaju se na radilištu u poseban kontejner dok se on ne napuni (injekcijske štrcaljke od 2 radna dana te braunile). Službujući tehničar tada poziva spremačicu koja ga odnosi u Tc-HOT-laboratorij. Odlaze se na odležavanje u kasu (45 dana). Nakon odležavanja, kontrolira se razina radioaktivnosti²¹.

Galijski (Ga-67) radioaktivni otpad (bočice i šprice)

Bočice se skupljaju u radnom tjednu u HOT-laboratoriju, nakon čega odlaze na odležavanje u kasu (45 dana). Injekcijske štrcaljke skupljaju se na radilištu u poseban kontejner dok se ne napuni (injekcijske štrcaljke od 2 radna dana te braunile). Službujući tehničar tada poziva spremačicu koja ga odnosi u Tc-HOT-laboratorij. Odlaze se na odležavanje u kasu (45 dana). Nakon odležavanja, kontrolira se razina radioaktivnosti²¹.

Radioaktivni otpad koji sadrži jod-125

Skuplja se dnevno na radilištu na kojem nastaje u crvene vreće za otpad. Vreće se svakodnevno odnose u skladište radioaktivnog otpada. Odležavaju 60 dana, te se mjeri razina radioaktivnosti²¹.

Radioaktivni otpad koji sadrži radionuklide kao što su fluor-18 i jod-123, zbrinjava se na isti način kao i radioaktivni otpad koji sadrži tehnecij-99m. Radioaktivni otpad koji sadrži radionuklide kao što su itrij-90, indij-111, samarij-153 zbrinjava se na isti način kao i otpad koji sadrži galij-67 i talij-201. Kruti radioaktivni otpad kao posljedica kontaminacije i/ili dekontaminacije odlaze se prema propisima za radionuklid kontaminant. Ovisno o razini aktivnosti nakon odležavanja, otpad se pohranjuje u skladištu radioaktivnog otpada ili se ispušta iz nadzora i pohranjuje kao poseban, bolnički otpad. Razinu aktivnosti kontrolira ovlašteni pripadnik odjela za biofiziku i odlučuje na temelju izmjerenih aktivnosti o daljnjem postupku²¹.



Slika 1. Vlastita slika olovnog ormara za pohranu istrošenih radionuklidnih generatora, KBC Zagreb, Klinički zavod za nuklearnu medicinu i zaštitu od zračenja.



Slika 2. Vlastita slika kutija za zbrinjavanje kolona radionuklidnih generatora (žuto) i rastavljenog generatora (plavo), KBC Zagreb, Klinički zavod za nuklearnu medicinu i zaštitu od zračenja.

6. ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Republika Hrvatska (RH) ima obvezu zbrinuti radioaktivni otpad (RAO) i iskorištene izvore ionizirajućeg zračenja (II) koji su nastali 60-godišnjom primjenom izvora ionizirajućeg zračenja u medicini, industriji, znanosti, vojnoj i javnoj upotrebi. Objekti u kojima se do sada privremeno skladištio navedeni otpad su zatvoreni. Stoga se mora što prije uspostaviti središnje skladište RAO-a, kao što je u Zakonu i propisano. Nadalje, RH ima obvezu sanirati

lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali za koje je potreban kontinuirani regulatorni nadzor²².

Vlada RH je 2009. godine izradila Strategiju zbrinjavanja RAO. Navedena Strategija izrađena je u sklopu pristupnih pregovora o pristupanju RH Europskoj uniji. U međuvremenu, smjernice, ciljevi i zaključci te Strategije nisu provedeni. Stoga Vlada RH podnosi Hrvatskome saboru na usvajanje novu Strategiju zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva, u kojoj se sustavno i dugoročno pristupa rješavanju gore navedene problematike. Smjernice i ciljevi moraju biti definirani tako da se osigura zaštita pojedinaca, društva i okoliša, u sadašnjosti i budućnosti, od štetnih učinaka ionizirajućeg zračenja. RH ima obvezu na tehnološki siguran, prihvatljiv za okoliš i organizacijski učinkovit način zbrinuti institucionalni RAO i II te sanirati lokacije na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali. U dijelu koji se odnosi na sanaciju lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali Strategijom se nastoji: istaknuti obvezu izrade cjelovitih programa sanacije koji uključuju tehnološki sigurna, prihvatljiva za okoliš i organizacijski učinkovita rješenja koja se odnose na status lokacije u dalekoj budućnosti, istaknuti obvezu vlasnika postrojenja koje je proizvelo radioaktivne materijale, odnosno vlasnika lokacije na kojoj se nalaze navedeni materijali za izradu programa sanacije i za osiguranje financijskih sredstava potrebnih za sanaciju, afirmirati pristup prema kojemu se sanacija treba odvijati na samoj lokaciji, afirmirati pristup prema kojemu programe sanacije treba uskladiti s prostornim i urbanističkim planovima lokalne zajednice, na čijem se teritoriju lokacija o kojoj je riječ nalazi, afirmirati potrebu razmatranja mogućnosti ponovne upotrebe materijala i uspostaviti koncept kontinuiranog radiološkog nadzora lokacije i odgovarajućeg izvještavanja²².

Načela na kojima se temelji Strategija preuzeta su iz Zajedničke konvencije, iz temeljnog dokumenta IAEA o zbrinjavanju RAO-a, "Principles of Radioactive Waste Management" su slijedeća:

- Zbrinjavanje radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti organizirano na način koji osigurava zaštitu pojedinaca, društva i okoliša od štetnih učinaka ionizirajućeg zračenja.
- Zbrinjavanje radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti organizirano na način kojim se uzima u obzir mogućnost prekograničnih štetnih učinaka ionizirajućeg zračenja na ljudsko zdravlje i okoliš.

- Zbrinjavanje radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti organizirano na način kojim se ne nameću nepotrebni tereti budućim naraštajima.

- Nastajanje radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti ograničeno na najmanju moguću količinu, koliko je to razumno ostvarivo, u smislu aktivnosti i volumena, organizacije tehnologije i načina zbrinjavanja te razgradnje, uključujući ponovne upotrebe materijala.

- Ovisnost između nastajanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora i njihova zbrinjavanja mora biti uzeta u obzir u smislu racionalizacije postupaka i povećavanja učinkovitosti te radiološke i nuklearne sigurnosti.

- Radioaktivni otpad i iskorišteni izvori moraju biti zbrinuti na siguran način, uključujući dugoročne pasivne mjere radiološke i nuklearne sigurnosti.

- Primjena mjera radiološke i nuklearne sigurnosti mora biti sumjerljiva riziku.

- Trošak zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora snose uzročnici radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora.

- Proces zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti dokumentiran u svim svojim fazama.

- Pravna ili fizička osoba koja obavlja djelatnost zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora odgovorna je za primjenu mjera radiološke i nuklearne sigurnosti.

- Učinkovit pravni okvir s institucionalnom infrastrukturom zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti dugoročno osiguran.

- Upravljanje radiološkom i nuklearnom sigurnošću mora biti uspostavljeno u objektima i nad instalacijama koji su uključeni u obavljanje djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora.

- Obavljanje djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti osigurano tako da je nedvojbeno demonstrirana dugoročna opravdanost odabranog načina obavljanja djelatnosti, na osnovi doprinosa općem dobru.

- Radiološka i nuklearna sigurnost prilikom obavljanja djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora mora biti optimizirana tako da osigurava najveću razinu radiološke i nuklearne sigurnosti koliko je to razumski moguće.

- Ograničenje rizika mora osigurati da je ozračivanje pojedinca ili opterećenje okoliša zbog obavljanja djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora ispod dozvoljenih granica.
- Mora se osigurati zaštita sadašnjih i budućih generacija od rizika nastalih obavljanjem djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora.
- Moraju se poduzeti svi mogući napori radi sprečavanja izvanrednih događaja do kojih može doći zbog obavljanja djelatnosti zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora.
- Moraju se uspostaviti i održavati aranžmani potrebni za odgovor u slučaju nastanka izvanrednog događaja.
- Aktivnosti zaštite i/ili umanjivanja posljedica zbog izvanrednog događaja moraju biti opravdane i optimizirane tako da osiguravaju doprinos općem dobru²².

5.1. Institucionalni RAO i II

Institucionalni RAO i II nastaju 60-godišnjom primjenom izvora ionizirajućeg zračenja u medicini, industriji, znanosti, vojsci, ali i u napravama koje se još uvijek ponegdje nalaze u javnoj upotrebi (gromobrani i javljači dima). Praksa zbrinjavanja institucionalnog RAO-a i II-ja sastojala se od njihova privremenog pohranjivanja u dva skladišta. To su skladišta Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada (IMI) i Instituta Ruđera Boškovića (IRB), oba smještena u Zagrebu²².

Skladište IMI-ja je u svrhu prihvata institucionalnog RAO-a i II-ja korišteno od 1959. do 2000. godine. Danas je to skladište zatvoreno za prihvrat novonastalog RAO-a i II-ja. Tijekom 2006. godine, uz pomoć IAEA-e i uz nadzor tadašnjeg Državnog zavoda za zaštitu od zračenja, provedena je sanacija skladišta koja je obuhvaćala karakterizaciju, razvrstavanje i kondicioniranje dijela tada postojećeg inventara. Procjena je da je u skladištu IMI-ja pohranjeno oko 1,5 m³ institucionalnog RAO-a i II-ja, od čega približno 0,5 m³ zauzimaju paketi s kratkoživućim, dok 1 m³ zauzimaju paketi s dugoživućim radionuklidima²².

Skladište IRB-a izgrađeno je 1967. godine s namjenom pohranjivanja RAO-a i II-ja proizvedenog u Institutu. Kako se s vremenom u skladište počeo dopremati i institucionalni RAO i II generiran izvan Instituta, kapacitet je postao nedostatan. Zbog toga je 1987. godine

izvedeno njegovo proširenje. Uz postojeću prostoriju volumena 62 m³ izgrađena je nova prostorija za skladištenje volumena 73 m³, a iznad nje i prostorija za obradu i razvrstavanje RAO-a. Skladište IRB-a bilo je ovlašteno za sakupljanje, obradu i skladištenje svih vrsta krutih i tekućih II-ja i institucionalnog RAO-a u RH. Prema odluci Vlade RH iz 2009. godine, koja je uslijedila na temelju zaključka Strategije iz 2009. godine, taj je objekt nominiran kao središnje nacionalno skladište. Međutim, zbog protivljenja javnosti i nemogućnosti postizanja dogovora s upravom Instituta, odluka Vlade RH nije provedena. U međuvremenu je skladište IRB-a, zbog neprimjerenog skladištenja institucionalnog RAO-a i II-ja, zapečaćeno od strane Zavoda. Prema trenutačnoj procjeni u skladištu IRB-a pohranjeno je oko 6 m³ institucionalnog RAO-a i II-ja, od čega oko 5 m³ zauzimaju paketi s kratkoživućim radionuklidima, dok paketi s dugoživućim radionuklidima zauzimaju volumen od 1 m³. Znači, u skladištima IMI-ja i IRB-a ukupno je pohranjeno 7,5 m³ institucionalnog RAO-a i II-ja. Ukupno procijenjena aktivnost tog otpada iznosi oko 1,6×10¹³ Bq. Obje kategorije pripadaju nisko i srednje radioaktivnom otpadu. Klasifikacija RAO-a na kratkoživući (vrijeme poluraspada do 30 godina, α emiteri u koncentracijama do 4000 Bq/g po paketu) i dugoživući (vrijeme poluraspada dulje od 30 godina, α emiteri u koncentracijama većim od 4000 Bq/g po paketu) definirana je s obzirom na preferentne načine odlaganja. Tako se za kratkoživuće pakete preferira površinski tip odlagališta, dok se za dugoživuće pakete preferira odlagalište smješteno u dubokim geološkim formacijama²².

Trenutačno se procjenjuje da će se u RH do 2040. godine dodatno generirati oko 10 m³ institucionalnog RAO-a i II-ja. Pri tome treba ponovno naglasiti da se navedena procjena odnosi isključivo na skladišne pakete institucionalnog RAO-a i II-ja, odnosno na pakete koji nisu kondicionirani tako da udovoljavaju kriterijima za odlaganje²².

5.2. Ciljevi

Kratkoročni ciljevi (2 godine)

Oba skladišta, IMI i IRB, za pohranjivanje institucionalnog RAO-a i II-ja su zatvorena. S druge strane, institucionalni RAO i II i dalje se generiraju. Stoga je potrebno u kratkom roku uspostaviti središnje skladište za RAO i II. U međuvremenu, Zavod je već inicirao stanovite aktivnosti vezane za uspostavu središnjeg skladišta. Uspostavom središnjeg skladišta stvaraju se uvjeti za premještaj institucionalnog RAO-a i II-ja iz skladišta IMI-ja i IRB-a. U slučaju

skladišta IMI-ja premještaj se svodi na transport. Slučaj skladišta IRB-a puno je zahtjevniji i prije svega podrazumijeva njegovu sanaciju. U međuvremenu je IRB, u skladu s odgovarajućom odlukom Zavoda, poduzeo stanovite aktivnosti na sanaciji svog skladišta²².

Programi sanacije lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali prije svega se moraju temeljiti na zaštiti zdravlja ljudi i zaštiti okoliša od radiološkog utjecaja. U skladu s time, u okviru programa sanacije mora biti sistematično razrađen kontinuirani radiološki nadzor lokacija o kojima je riječ. Pri tome se mora uzeti u obzir planirana buduća namjena lokacija. Prilikom izrade programa sanacije lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali potrebno je voditi računa o učinkovitosti već provedenih postupaka sanacije i mjera za zaštitu okoliša te o možebitnoj zapuštenosti postojećih deponija i o eventualnoj potrebi za njihovom obnovom. Ako se lokacije planiraju koristiti za daljnje deponiranje prirodnih radioaktivnih materijala, potrebno je razmotriti jesu li kapaciteti postojećih deponija dostatni. Za izradu programa sanacije treba uzeti u obzir već provedena istraživanja na lokacijama i dobivene rezultate analiza. Ta istraživanja i rezultate analiza treba koristiti kao temelj za određivanje dodatnih istraživačkih radova. Ako postojeći planovi sanacije nisu u skladu s rezultatima najnovijih istraživanja, potrebno ih je revidirati. Jedan od glavnih ciljeva svakako je i uspostava centara za informiranje i edukaciju javnosti o zbrinjavanju radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva²².

Dugoročni ciljevi

Provedba dugoročnog kontinuiranog radiološkog nadzora lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali²².

5.3. Zakonodavni okvir

Zakonodavni okvir RH u području zbrinjavanja RAO-a i II-ja trenutačno čine Zakon, dvije uredbe i 19 pravilnika. Zakon određuje mjere radiološke sigurnosti, fizičkog osiguranja te neširenja nuklearnog oružja pri obavljanju nuklearnih djelatnosti i djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja. Definirane mjere omogućuju primjerenu zaštitu pojedinaca, društva i okoliša od štetnih posljedica ionizirajućeg zračenja, sigurno obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, nuklearnih djelatnosti, djelatnosti zbrinjavanja RAO-a i odgovarajuće

fizičko osiguranje. Zakon sadrži odredbe u skladu s aktima Europske unije, međutim nije u potpunosti usklađen s tim aktima iz područja radiološke i nuklearne sigurnosti. Jedna od značajnijih neusklađenosti je to što Zakon određuje da Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost obavlja poslove upravljanja središnjim skladištem, za razliku od Direktive 2011/70 koja zahtijeva da je regulatorno tijelo funkcionalno odvojeno od tijela ili organizacije koja obavlja poslove zbrinjavanja RAO-a²².

RH je potpisnica niza međunarodnih ugovora, konvencija i sporazuma, tako da pri rješavanju problematike RAO-a mora provesti obveze preuzete u skladu s međunarodnim propisima. Zajednička konvencija potvrđuje da krajnju odgovornost za sigurnost zbrinjavanja RAO-a snosi država. RAO bi morao biti pohranjen u zemlji u kojoj je i proizveden, međutim zajednička konvencija predviđa da u određenim uvjetima, sigurno i učinkovito zbrinjavanje RAO-a može biti poduprto međudržavnim ugovorima za korištenje postrojenja jedne od država, a za dobrobit ostalih, posebno u slučajevima kada otpad dolazi iz zajedničkih projekata²².

5.4. Raspodjela odgovornosti

Hrvatski sabor, Vlada, Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Ministarstvo zdravlja, Ministarstvo unutarnjih poslova, Ministarstvo gospodarstva te različite strukovne udruge, kao što su HND (Hrvatsko nuklearno društvo) i HDZZ (Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja) surađuju u izradi zakonodavnog okvira u području radiološke i nuklearne sigurnosti²².

RH će izgraditi takav nacionalni sustav zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora u kojemu će odgovornosti svih sudionika biti jednoznačno određene. Nacionalni sustav zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora bit će izgrađen tako da će osigurati visok stupanj koordinacije između svih relevantnih nadležnih tijela državne uprave. Zavod će uspostaviti središnje skladište za institucionalni radioaktivni otpad i iskorištene izvore. Paralelno s uspostavom središnjeg skladišta, Vlada će odrediti pravnu osobu koja će obavljati poslove zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora²².

5.5. Osiguranje sredstava

Financijska sredstva potrebna za provedbu pojedinih djelatnosti u zbrinjavanju radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora moraju biti raspoloživa u trenutku provedbe odgovarajuće djelatnosti zbrinjavanja. Financijska sredstva potrebna za zbrinjavanje naslijeđenog institucionalnog radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora osigurat će se iz proračuna RH. Financijska sredstva potrebna za zbrinjavanje novonastalog institucionalnog radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora osigurat će uzročnici tog novonastalog institucionalnog radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora. Financijska sredstva potrebna za sanaciju lokacija na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali osigurat će vlasnici postrojenja koje je materijale proizvelo ili vlasnici lokacija na kojima se ti materijali nalaze²².

5.6. Ljudski resursi

Nacionalni sustav zbrinjavanja radioaktivnog otpada organiziran je tako da svim sudionicima otvori mogućnost obrazovanja i osposobljavanja u relevantnim područjima zbrinjavanja te da svim sudionicima postavi zahtjeve za provedbom aktivnosti istraživanja i razvoja u relevantnim područjima zbrinjavanja²².

Zapošljavanje novog stručnog osoblja i osposobljavanje osoblja Zavoda i drugih organizacija koje će sudjelovati u izradi i provedbi programa zbrinjavanja treba planirati i provoditi prije izgradnje objekata zbrinjavanja. Također se treba planirati i osigurati zamjena za zaposlenike koji će otići u mirovinu. U RH nije sustavno organizirana izobrazba i osposobljavanje iz područja zbrinjavanja RAO-a i II-ja. Prema tome potrebno je uspostaviti suradnju s relevantnim fakultetima, profesionalnim i međunarodnim organizacijama, kao što je IAEA²².

5.7. Sudjelovanje javnosti

Važno je osigurati dostupnost informacija o zbrinjavanju radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva svim sudionicima u djelatnostima zbrinjavanja i javnosti, osigurati edukaciju javnosti o zbrinjavanju radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora te osigurati pravo javnosti na sudjelovanje u procesu odlučivanja o načinima zbrinjavanja radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora. Naime, sudjelovanje javnosti u postupku odlučivanja pridonosi većem razumijevanju rizika i koristi te može poboljšati opću

prihvatljivost krajnjih odluka. Stoga je bitno da kodeks savjetovanja sa zainteresiranom javnošću u postupcima donošenja zakona, drugih propisa i akata definira: pravodobno informiranje, dostupnost i jasnoću sadržaja, rok provedbe, povratnu informaciju o učincima provedenog savjetovanja i usklađenost primjene standarda i mjera savjetovanja u državnim tijelima²².

Značajna karakteristika dobrog komunikacijskog programa je želja svih stranaka za uspostavom i održavanjem konstruktivne dvosmjerne interakcije. Komunikacija se treba usredotočiti na ona pitanja za koje je velik interes, gdje postoji potreba za točnim informacijama na temelju kojih se donose odluke. Povjerenje javnosti je veće ako se uzmu u obzir pitanja koja su postavljena od strane javnosti te ih se pažljivo i otvoreno vrednuje. Komunikacija mora biti činjenična, pravodobna, potpuna i razumljiva. Informacije trebaju biti dostatne za stjecanje osnovnih znanja o relevantnim pitanjima i trebaju omogućiti javnosti da donese razumne i informirane zaključke o rizicima i koristima zbrinjavanja RAO-a i ING-a. Pravodobno uključivanje interesnih skupina i transparentnost u donošenju odluka unapređuje razumijevanje, može poboljšati sigurnost i zasigurno može pridonijeti povjerenju javnosti. U mnogim slučajevima javnost procjenjuje rizik i ozbiljnost mogućih posljedica, a u isto vrijeme podcjenjuje napore upravitelja postrojenja i regulatora u procjenjivanju i sprečavanju opasnosti. Edukacija u centrima nije dovoljna, stoga bi trebalo u sklopu prirodoslovnih predmeta u osnovnim i srednjim školama uključiti i tematiku zbrinjavanja RAO-a i II-ja²².

5.8. Uvoz i izvoz

Uvoz radioaktivnog otpada i iskorištenih izvora zabranjen je Zakonom. Ta se odredba dugoročno ne namjerava mijenjati. S druge strane, izvoz radioaktivnog otpada dopušten je u okvirima koje propisuju odgovarajuće Direktive²².

5.9. Zbrinjavanje

U RH uspostaviti će se centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada. Postupak odabira pogodne lokacije za smještaj centra za zbrinjavanje radioaktivnog otpada provest će se uz transparentno i cjelovito informiranje javnosti i uz njezino aktivno sudjelovanje u procesima

odlučivanja. Vlada RH aktivno će podupirati razvoj lokalne zajednica na čijem se teritoriju nalazi centar za zbrinjavanje radioaktivnog otpada²².

Odabir lokacije centra za zbrinjavanje RAO-a, na kojoj će se nalaziti objekti za skladištenje i odlaganje RAO-a i II-ja, dugotrajan je i skup postupak s neizvjesnim ishodom. Objekti o kojima je riječ pripadaju kategoriji kontroverznih objekata, tako da percepcija javnosti najčešće nosi negativne konotacije oko izgradnje potrebnih skladišta i potom odlagališta RAO-a. Pri tome treba voditi računa o vrlo izraženoj međuovisnosti različitih djelatnosti zbrinjavanja RAO-a kao što su obrada, kondicioniranje, manipuliranje, skladištenje i odlaganje. Djelatnosti obrade i kondicioniranja RAO-a treba organizirati tako da se dodatno generiranje RAO-a ograniči na najmanju moguću razumno ostvarivu mjeru u smislu aktivnosti i volumena. Pri svemu tome za tehničke objekte i postupke zbrinjavanja RAO-a i II-ja treba postaviti takve zahtjeve koji se odnose na radiološku, nuklearnu i fizičku sigurnost, ispunjenje kojih će jamčiti međunarodno preporučene kriterije prihvatljivosti individualnog, grupnog i ekonomskog rizika te rizika za okoliš. Drugim riječima, primjena mjera radiološke, nuklearne i fizičke sigurnosti mora biti sumjerljiva granici zanemarivog rizika²².

Odabir jedne lokacije u skladu je i s Programom prostornog uređenja RH iz 1999. godine, u kojem stoji kako RH treba riješiti odlaganje nisko i srednje radioaktivnog otpada na jednoj lokaciji primjenjujući najsuvremeniju tehnologiju i postupke koji će osigurati trajno odlaganje na siguran način²².

5.10. Sanacija

Sanacija prirodnih radioaktivnih materijala provodit će se na samoj lokaciji na kojoj se ti materijali nalaze. Programi sanacije lokacija bit će usklađeni s prostornim i urbanističkim planovima uređenja lokalnih zajednica na čijem teritoriju se lokacije nalaze. Postupcima sanacije uzet će se u obzir mogućnost ponovne upotrebe onih prirodnih radioaktivnih materijala koji se mogu osloboditi regulatornog nadzora. Na lokacijama na kojima se nalaze prirodni radioaktivni materijali provodit će se kontinuirani radiološki nadzor²².

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na iznesene informacije, kao logičnim nameće se stav da bi bilo dobro kad bi radiološke i nuklearno-medicinske dijagnostičke i terapijske metode bile čim manje štetne, odnosno da generiraju čim manje ionizirajućeg zračenja, jer time bi bilo i manje opasnog radioaktivnog otpada pa bi bilo i manje deformiteta, tumora i bolesti prouzrokovanih na taj način. No ipak, moguće je da će daljnja i dodatna edukacija medicinskog i nemedicinskog osoblja o učincima ionizirajućeg zračenja u budućnosti dovesti do novih spoznaja i dodatne prevencije tog štetnog procesa pa da tako i ozračenost populacije bude čim manja. Svakako sam za to da se o ovoj tematici više priča i uči tijekom obaveznog obrazovanja, u osnovnim i srednjim školama.

Mislim da je odlaganje medicinskog pa tako i radioaktivnog otpada hrvatskim zakonima dobro regulirano i da je napravljena dobra podjela odgovornosti između nadležnih institucija. Međutim, to u praksi ne izgleda tako efikasno i svakako bi čim prije trebalo pronaći odlagališta koja bi bila adekvatne zamjene za skladišta Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada i Instituta Ruđera Boškovića, umjesto što se navedeni otpad trenutno odlaže u ustanovama u kojima nastaje. Pritom bi bilo poželjno da se i bolnice i Ministarstvo zdravlja čim više uključe u rješavanje ovog problema, jer jedna od glavnih zadaća nas medicinara svakako je maksimalan mogući angažman oko zdravlja populacije.

7. LITERATURA

1. Hrvatska enciklopedija. Pristupljeno 11.06.2017. Dostupno na:
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27754>.
2. Brnjas-Kraljević J. Struktura materije. Fizika za studente medicine: struktura materija i dijagnostičke metode. Zagreb: Medicinska naklada; 2001. Str. 32-35.
3. Dodig D, Ivančević D, Kraljević P, Kusić Z, Medvedec M, Poropat M i sur. Zaštita od zračenja. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 185-202.
4. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u medicini i dentalnoj medicini. Narodne novine 89/2013.
5. Janković S. Rendgenski uređaji. Ur: Hebrang A, Klarić-Čustović R. Radiologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2007. Str. 33-56.
6. Marotti M., Sučić Z. Digitalna radiografija i kompjuterizirana tomografija. Ur: Hebrang A, Klarić-Čustović R. Radiologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2007. Str. 57-60.
7. Dikšić M, Dodig D., Gregurić N., Ivančević D., Kasal B., Knešaurek K. i sur. Osnove. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 20-24.
8. Bence-Žigman Z, Dodig D, Halbauer M, Ivančević D, Karner I, Knežević-Obad A. i sur. Ispitivanje i liječenje endokrinih žlijezda. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 39-74.
9. Dodig D, Franceschi D, Ivančević D, Kusić Z, Samaržija M, Staničić A i sur. Ispitivanja srca, pluća i krvnih žila. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 75-98.
10. Dodig D, Ivančević D, Kusić Z, Matković V, Staničić A, Škugor M. Ispitivanja koštanog sustava. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 99-108.

11. Banek T, Burić A, Dodig D, Franceschi D, Ivančević D, Karner I i sur. Ispitivanja u gastroenterologiji. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 109-124.
12. Bajc M, Dodig D, Franceschi M, Ivančević D i Kusić Z. Ispitivanja u neurologiji. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 125-132.
13. Dodig D, Ivančević D, Kusić Z, Poropat M, Smokvina A, Žigman M. Ispitivanja u nefrologiji i urologiji. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 133-147.
14. Dodig D, Ivančević D, Kaštelan M, Kusić Z, Popović S. Ispitivanja u hematologiji. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 149-156.
15. Dodig D, Ivančević D, Ivančević V, Kusić Z, Lukinac Lj. Dijagnostika tumora i upala. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 157-168.
16. Dodig D, Ivančević D, Kovačić K, Kusić Z, Staničić A. Ostala ispitivanja. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 169-172.
17. Bolanča A, Dodig D, Đaković N, Ivančević D, Kovačić K, Kusić K i sur. Ostale terapijske primjene radionuklida. Ur: Ivančević D, Dodig D, Kusić Z. Klinička nuklearna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 173-178.
18. Odluka o donošenju Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. - 2022. godine. Narodne novine 3/2017.
19. Pravilnik o gospodarenju medicinskim otpadom. Narodne novine 50/2015.
20. Grošev D. Zbrinjavanje medicinskog radioaktivnog otpada. Stručna prezentacija; 2016.
21. Žuvić M, Grošev D. Zbrinjavanje krutog radioaktivnog otpada. Stručna prezentacija; 2015.

22. Strategija zbrinjavanja radioaktivnog otpada, iskorištenih izvora i istrošenog nuklearnog goriva. Narodne novine 125/2014.

8. ZAHVALE

Zahvaljujem se obitelji i prijateljima koji su me podržavali tijekom dugog niza godina te mi pomogli da dođem na korak od kraja teškog i zahtjevnog (no ujedno i lijepog) studija medicine, a osobite zahvale zavrijedili su: Nedeljka Barač (moja majka), Lucija Puškarić (moja djevojka), Matija Majić (najbolji prijatelj još iz djetinjstva) i Nikola Rogina (moj prijatelj i kolega s fakulteta).

9. ŽIVOTOPIS

Ja, Dean Smojver, doktor medicine, rođen sam u Rijeci 17.02.1984. godine. U Zagrebu sam završio osnovnu i srednju zubotehničku školu, iz koje nosim tri osobito lijepe uspomene: odličan uspjeh tijekom cijelog srednjoškolskog obrazovanja, 1. mjesto iz povijesti u županiji Grad Zagreb i 2. mjesto u državi (vice-prvak) te upis na željeni studij medicine. U ljeto 2003. godine upisao sam medicinu u Rijeci, a godinu dana potom prebacio se na studij u Zagreb. Tijekom studiranja medicine, razvio sam afinitete za neke bazične (anatomija, fiziologija, temelji neuroznanosti), kirurške (ortopedija, otorinolaringologija) i nekirurške (neurologija, fizikalna medicina, sudska medicina, školska medicina) grane pa vjerujem da ću uspjeti dobiti specijalizaciju za neki od navedenih medicinskih smjerova. U slobodno vrijeme, dosta pratim filmove, glazbu i sport, a jedno vrijeme bio sam involviran i u nekim sekcijama Medicinskog fakulteta (košarka i pisanje za službeno glasilo Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Medicinar).